

ANÁLISIS DE GUÍAS DE PLANOS PARALELOS PARCIALMENTE LLENAS DE MEDIOS QUIRALES

Miguel A. Solano

Dpto. Ingeniería de Comunicaciones
Universidad de Cantabria
solanom@unican.es

Álvaro Gómez

Dpto. Ingeniería de Comunicaciones
Universidad de Cantabria
gomezal@unican.es

Ángel Vegas

Dpto. Ingeniería de Comunicaciones
Universidad de Cantabria
vegasa@unican.es

ABSTRACT

In this communication parallel plate waveguides partially filled by slabs of quiral media are analysed by means of a new formulation of the Coupled Mode Method (CMM). We show here how this formulation can be applied. Our results show that the predictions are confirmed in the same way as for anisotropic media.

1. INTRODUCCIÓN

Un objeto quiral se define como un cuerpo tridimensional que no se puede superponer con su imagen especular ni por rotación ni por traslación. A frecuencias de microondas la propiedad más significativa de un medio quiral relativa a la propagación de una onda electromagnética es la de la rotación de su plano de polarización [1]. Para propagación de ondas guiadas en estructuras con medios quirales, exceptuando algunas estructuras sencillas como la guía de planos paralelos llena de un medio quiral, no es posible encontrar soluciones cerradas, siendo necesario acudir a métodos numéricos aproximados para encontrar el campo electromagnético.

En esta comunicación se presenta una nueva formulación del método de modos acoplados (MMA) para el caso de una guía de planos paralelos parcialmente llena con láminas de material quiral. Habitualmente se utiliza una formulación en la que no es necesario realizar ninguna inversión de matrices. De estudios previos en propagación en guía de onda rectangular con medios girotrópicos, se ha visto que una formulación alternativa, en la que es necesario realizar la inversión de dos matrices, produce una más rápida convergencia de las constantes de propagación y una mejor descripción del campo electromagnético.

2. TEORÍA

El método de modos acoplados es un método de momentos que se basa en expresar las componentes del campo electromagnético en la guía parcialmente llena a analizar como combinación lineal de unas funciones o modos base (en este caso son TE, TM y el modo TEM de una guía de planos paralelos vacía)

El proceso matemático por el que se llega a las denominadas ecuaciones del telegrafista generalizadas puede verse en [2]. Este sistema de ecuaciones debe transformarse en un sistema de autovalores, mediante la expresión de los coeficientes de las componentes longitudinales E_z y H_z en función de los coeficientes de las componentes transversales. Dependiendo de cómo se realice este proceso obtendremos un tipo u otro de formulación. Para ello, es necesario emplear las relaciones de constitución. En medios bi-isótropos existen diversas formas de escribir las relaciones de constitución. Para nuestro caso son útiles las expresadas en la forma siguiente

$$\vec{D} = \epsilon \vec{E} + (\chi - j\kappa) \sqrt{\mu_0 \epsilon_0} \vec{H} \quad (1a)$$

$$\vec{B} = \mu \vec{H} + (\chi + j\kappa) \sqrt{\mu_0 \epsilon_0} \vec{E} \quad (1b)$$

Si se utilizan estas ecuaciones para la componente “z”, el resultado es lo que denominamos formulación indirecta. Resulta fácil ver que con estas ecuaciones es imposible despejar E_z y H_z en función del resto de componentes sin realizar alguna inversión de matrices y de ahí el nombre de la formulación. Si se quiere realizar este mismo proceso, sin invertir matrices, es necesario manipular las ecuaciones anteriores para ponerlas como

$$E_z = \frac{1}{\epsilon_0 [\epsilon_r - (\chi^2 + \kappa^2)]} D_z - \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0} \epsilon_0 [\epsilon_r - (\chi^2 + \kappa^2)]} (\chi - j\kappa) B_z$$
$$H_z = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0} \epsilon_0 [(\chi^2 + \kappa^2)] - \epsilon_r} D_z - \frac{\epsilon_r}{\mu_0 [\epsilon_r - (\chi^2 + \kappa^2)]} B_z$$

en donde ahora las componentes E_z y H_z están “despejadas”, de forma que no será necesario realizar ninguna inversión de matrices. De ahí el nombre de formulación directa. Esta es la

formulación empleando por todos los autores. Veremos en la próxima sección cómo la formulación directa proporciona mejores resultados.

3. RESULTADOS

La formulación descrita se ha aplicado a una estructura como la de la figura 1

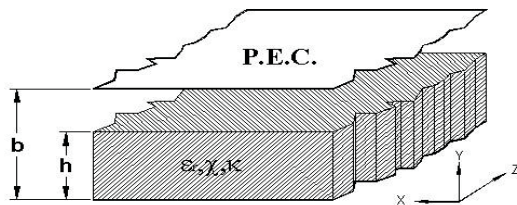


Figura 1. Guía de planos paralelos parcialmente llena con una lámina de material quirál.

En la figura 2 se muestra la constante de fase para el modo fundamental para una estructura como la de la figura 1 pero totalmente llena ($h=b$) obtenida mediante las formulaciones directa e indirecta y se comparan con los resultados analíticos obtenidos siguiendo la formulación analítica propuesta en [3]. Se observa como la formulación indirecta proporciona una convergencia mucho más rápida hacia el valor correcto que la formulación directa. Además, este comportamiento se acentúa a medida que el parámetro de quiralidad κ se hace mayor. Resultados análogos se obtienen para los siguientes modos.

De la misma forma en la figura 3 se muestran resultados análogos para el caso de una lámina de material quirál. Se observa como los resultados proporcionados por la formulación directa no convergen y, sin embargo, la formulación directa sí converge. Es de destacar cómo a medida que el modo es más profundo y el parámetro de quiralidad más grande, la formulación directa va deteriorándose mientras que no se produce ningún efecto negativo sobre la formulación indirecta.

3. CONCLUSIONES

En esta comunicación se muestra la aplicación de una nueva formulación del método de modos acoplados al caso de una guía parcialmente llena de un medio quirál. Los resultados obtenidos muestran una convergencia más rápida que la obtenida por la formulación habitualmente empleada.

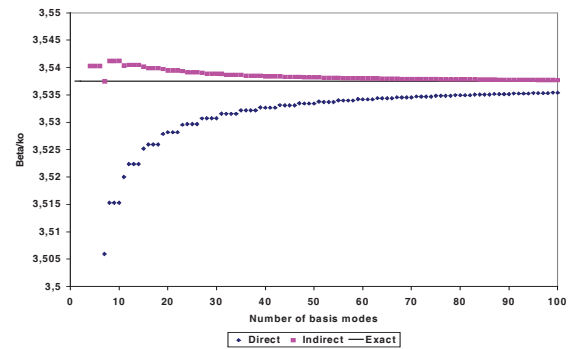


Figura 2. Convergencia para la constante de fase normalizada al número de onda en el vacío para el modo fundamental en función del número de modos base introducidos en el desarrollo. Dimensiones en mm.: $b=h=10$, $\epsilon_r=5.142$ $\kappa=1.5$, $f=11$ GHz.

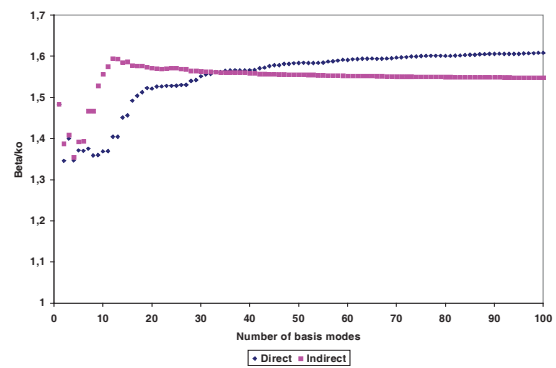


Figura 3. Resultados análogos a los de la figura 2, para una lámina quirál. Dimensiones en mm.: $b=h=10$, $\epsilon_r=5.142$ $\kappa=1.5$, $f=11$ GHz.

4. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo está financiado por la Dirección Gral. De Investigación, MCyT, bajo el proyecto TIC2000-1612-C03-01.

5. REFERENCIAS

- [1] I. V. Lindell and A. H. Sihvola, "Plane-Wave Reflection from Uniaxial Chiral Interface and Its Application to Polarization Transformation," *IEEE Transactions on Antennas and Prop.* **43**, No. 12, pp. 1397-1404, Dec. 1995..
- [2] A. Gómez, M.A. Solano and A. Vegas: "New formulation of the coupled mode method for the analysis of cuirrowaveguides", aceptado en Complex Medium III, Seattle, Julio 2002.
- [3] P. Pellet and N. Engheta, "Coupled-mode theory for Chirrowaveguides," *J. Appl. Phys.* **67**, pp. 2742-2745, March 1990.